Úkoly

1. Změřte závislost výchylky magnetometru na proudu protékajícím cívkou. Měření proveďte pro obě cívky a různé počty závitů (5 a 10). Maximální povolený proud obvodem je 4 A.
2. Výsledky měření znázorněte graficky.
3. Diskutujte výsledky měření z hlediska platnosti Biot-Savartova zákona.
4. Změřte direkční moment vlákna metodou torzních kmitů.
5. Určete magnetický moment magnetu užívaného při měření (v Coulombových i Ampérových jednotkách).

Teorie

V tomto praktiku budeme experimentálně ověřovat silové působení na dipól v magnetickém poli a Biot-Savartův zákon. Budeme-li předpokládat, že je magnetické pole H v průřezu cívek homogenní, lze působení na magnetický dipól p kolmý na H v jejich středu zapsat jednoduše vztahem:

$$M = pH \tag{1}$$

Při vychýlení o úhel α působí magnetometr momentem $M_D = D\alpha$, kde D je direkční moment. Ten spočteme podle vztahu:

$$D = J\frac{4\pi^2}{T^2} \tag{2}$$

kde J je známý moment setrvačnosti tyčky a T je perioda jejího kmitu v magnetometru.

Po ustálení se magnetometr dostane do rovnovážné polohy, pro kterou platí $M = M_D$. Uvážíme-li ještě vztah $H = NI/2r$ pro intenzitu magnetického pole uprostřed cívky podle Biot-Savartova zákona, dostáváme:

$$p = \frac{2rD\alpha}{NI} \tag{3}$$

kde r je poloměr použité cívky, N počet jejích závitů a I proud v obvodu.

Pro výpočet α lze použít vztah

$$\alpha = \frac{\arctan(\Delta x/l)}{2} \tag{4}$$

Číselný vztah mezi momentem p_A v Ampérových a p_C v Coulombových jednotkách je:

$$p_A \cdot \mu_0 = p_C \tag{5}$$

kde μ_0 je permeabilita vakua.

Pomůcky

Ampérmetr ($\delta = 0,2$), stabilizovaný síťový zdroj, 2 cívky s možností zapojení 5 resp. 10 závitů, torzní magnetometr, bodové světlo, stínítko se stupnicí v milimetrech, stojany, kabely, magnet, vyvažovací tyčka, kádinka s vodou, ploutvička pro brždění kmitů, stopky Hanhart Stratos 2.

Měření

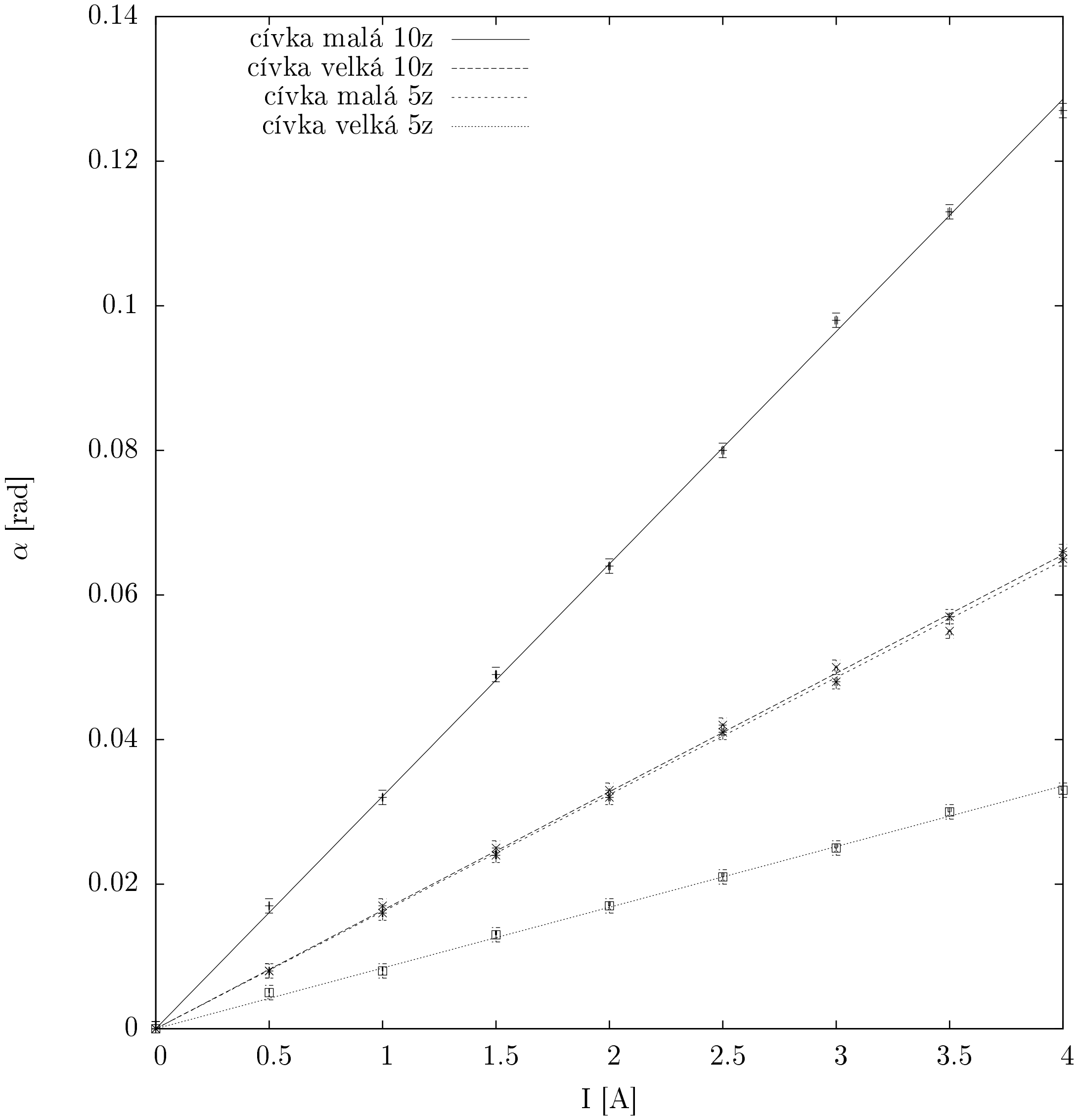
Magnetometr byl již sestaven, zkontrolovali jsme propnutí vlákna. Měřením kmitů tyčky známého momentu setrvačnosti jsme určili direkční moment vlákna v magnetometru podle vztahu 2, naměřené hodnoty jsou v tabulce 1. Reakční dobu uvažujeme 0,2 s. Vyšlo nám:

$$T = (4,03 \pm 0,03)\,\mathrm{s}$$

$$D = (6,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}\,\mathrm{kg\,m^2 s^{-2}}$$

Změřili jsme průměry použitých cívek, výsledky jsou v tabulce 2. Přeměřili jsme vzdálenost l zrcátka od stínítka, chybu odhadujeme na 3 mm.

$$l = (1065 \pm 3)\,\mathrm{mm}$$



Obrázek 1: graf závislostit výchylky α na proudu I

Tabulka 1: měření periody kmitů vyvažovací tyčky v magnetometru

10 T [s]	40,35	40,13	40,32	40,24	40,30	40,13

Tabulka 2: měření průměrů cívek [mm]

					arit. průměr s chybou
d_m	405	403	405	399	403 ± 2
d_v	203	204	204	205	204 ± 1

Poté jsme přistoupili k měření závislosti výchylky Δx resp. α na proudu cívkou I. Uspořádání je dobře popsáno v [1]; magnet jsme zasunuli do otvoru v držáku připevněném na vláknu magnetometru, cívku jsme upevnili do držáku tak, aby se magnet nacházel co možno nejblíže k jejímu středu, nastavili jsme podle výchylky rovnovážnou polohu blízko k jednomu z okrajů stínítka.

Poté jsme přistoupili k samotnému měření. Na stabilizovaném síťovém zdroji jsme nastavovali napětí tak, abychom dosáhli požadovaného proudu v obvodu s ampérmetrem a cívkou. Naměřené hodnoty jsou v tabulce 3.

Tabulka 3: závislost výchylky Δx a α na proudu I

		I [A]	0	0,500	1,000	1,500	2,000	2,500	3,000	3,500	4,000
		ΔI	0	0,001	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008
měření	cívka	závitů									
Δx [mm]	malá	10	104	68	35	0	-33	-67	-104	-136	-166
		5	104	87	69	52	35	17	1	-17	-34
	velká	10	104	86	68	51	33	15	-2	-13	-36
		5	104	94	86	77	68	59	50	41	33
α [rad]	malá	10	0	0,017	0,032	0,049	0,064	0,080	0,098	0,113	0,127
		5	0	0,008	0,016	0,024	0,032	0,041	0,048	0,057	0,065
	velká	10	0	0,008	0,017	0,025	0,033	0,042	0,050	0,055	0,066
		5	0	0,005	0,008	0,013	0,017	0,021	0,025	0,030	0,033

Ze vztahů 3 a 5 jsme spočetli magnetický moment p magnetu, který vyšel:

$$p = (4,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-7}\,\mathrm{Wb\,m}$$

$$p = (4 \pm 2) \cdot 10^{-1}\,\mathrm{A\,m^2}$$

Pro výpočet chyb jsme použili standardních statistických vztahů, viz. [2].

Diskuse

Biot-Savartův zákon dává v naší aplikaci do lineárního vztahu proud I a intenzitu magnetického pole H. Jelikož je navíc podle rovnice 1 lineární i vztah mezi výchylkou Δx a intenzitou H, musí platit lineární vztah i mezi Δx a I. To se i experimentálně ukázalo v rozsahu našeho měření, fitovací přímky prokládají v grafu na obrázku 1 body s velkou přesností.

Projevila se i nepřímá úměra mezi intezitou H vprostřed cívky a jejím poloměrem r. Tuto závislost jsme však nemohli proměřit se dvěma cívkami příliš důsledně, tyto výsledky hodnotíme spíše jako „neodporují teorii".

Chyby měření mají svůj původ zejména z měření vzdáleností a času. Reakční dobu jsme nadsadili na 0,2 s. Jelikož jsme ale měřili dobu deseti kmitů, je tato chyba menší než 1%. Nepřesnosti při odečítání hodnot na stínítku plynou nejvíce z kmitání a kolísání paprsku. Cívky neměly dokonale kruhovitý tvar, nečekáme však, že by odchylky do 3 mm vnášely do měření příliš velkou chybu. Chyby metod pokládáme v tomto měření za zanedbatelné.

Závěr

Měřili jsme s torzním magnetometrem. Zjistili jsme direkční moment vlákna:

$$D = (6,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-4}\,\mathrm{kg\,m^2s^{-2}}$$

Závislosti výchylek na proudu jsou v tabulce 3 a na obrázku 1. Magnetický moment použitého magnetu vyšel:

$$p = (4,4 \pm 0,2) \cdot 10^{-7}\,\mathrm{Wb\,m}$$

$$p = (4 \pm 2) \cdot 10^{-1}\,\mathrm{A\,m^2}$$

Literatura

[1] Bakule R., Šternberg J., Fyzikální praktikum II., SPN Praha 1989

[2] Jiří Englich: Úvod do praktické fyziky I, matfyzpress, Praha 2006